

Beiträge der Graduate School of the Arts I 2017

Herausgegeben von
Beate Hochholdinger-Reiterer
und Thomas Gartmann

Mit Beiträgen von Immanuel Brockhaus,
Heike Fiedler, Marc Kilchenmann,
Philippe Kocher, Camilla Köhnken, Cla Mathieu,
Nora Rudolf, Simeon Thompson

Über die Notwendigkeit technologischer Hilfsmittel in tempopolyphoner Musik

1. Einleitung

Betrachtungen zur zeitlichen Ordnung der Musik (Rhythmus, Metrum und Tempo) waren lange eine vernachlässigte Kategorie der Musiktheorie. So sehr die Zeit für die Musik konstitutiv ist, erst seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts wird sie explizit thematisiert.¹ Für Komponisten wurde «wie die Zeit vergeht» zu einer zentralen Fragestellung. Dies zeigte sich auf verschiedenen Ebenen: einerseits musikimmanent in der Form verschiedener neuer kompositionstechnischer Verfahren, die darauf abzielten, die Musik von normativen metrischen Mustern zu befreien, andererseits im Einbezug etlicher (pseudo-)naturwissenschaftlicher Konzepte, die besonders auch von den Erfahrungen mit verschiedenen Formen der elektronischen Musik geprägt waren. Ausserdem begannen Musiktheoretiker und Komponisten Zeitphilosophien zu reflektieren. Dies prägte vor allem das Nachdenken und Reden über Musik, was sich an etlichen in der Mitte des 20. Jahrhunderts neu entstandenen Begriffen wie beispielsweise dem Modewort «Zeitgestalt» ablesen lässt.² Hugo Riemann hatte nicht unrecht mit seiner Prognose, dass die Rhythmik die Disziplin sei, die das 20. Jahrhundert intensiv beschäftigen werde.³ Obwohl – oder gerade weil – sich das Interesse auf so viele unterschiedliche Aspekte der Zeitlichkeit von Musik richtete, ist die Theoriebildung noch längst nicht abgeschlossen und wird der Wissenschaft des 21. Jahrhunderts als «unfinished business» weitergegeben, wie es im Vorwort des Buches *Unfolding Time* treffend heisst.⁴

Dieser Aufsatz beschäftigt sich mit dem Thema der zeitlichen Ordnung der Musik aus der Perspektive eines Forschungsprojektes, das untersucht, welche Auswirkungen die Verwendung von Technologie auf die Gestaltung komplexer Tempostrukturen haben kann und welche neuartigen Möglichkeiten sich dadurch kompositorisch und aufführungspraktisch eröffnen.

-
- 1 Vgl. Wolfgang Rathert: «Zeit als Motiv in der Musik des 20. Jahrhunderts», in: Richard Klein/Eckehard Kiem (Hg.): *Musik in der Zeit, Zeit in der Musik*, Weilerswist: Velbrück Wissenschaft 2000, S. 287–312.
 - 2 Diskutiert in: Helga de la Motte-Haber: *Ein Beitrag zur Klassifikation musikalischer Rhythmen*, Köln: Arno Volk 1968, S. 15.
 - 3 Vgl. Hugo Riemann: *System der musikalischen Rhythmik und Metrik*, Leipzig: Breitkopf & Härtel 1903, S. ix.
 - 4 Vgl. das Vorwort in: Darla Crispin (Hg.): *Unfolding Time: Studies in Temporality in Twentieth-Century Music*, Leuven: Leuven University Press 2009, S. 7.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes werden technologische Hilfsmittel für tempopolyphone Musik entwickelt, insbesondere spezifische Musiksoftware, und ihre Anwendung in der Praxis untersucht. Im Zentrum steht dabei nicht elektroakustische Musik, wie es möglicherweise zu erwarten wäre, sondern primär eine von Menschen auf akustischen Instrumenten gespielte Musik.⁵

Die Verbindung von Musik und Technologie bedarf in der heutigen Zeit keiner besonderen Hervorhebung. Digitale Technologien, einstmals hoch spezialisiert, haben sich in den letzten zwei Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts im täglichen Leben der industrialisierten Gesellschaft ausgebreitet und ihre Verwendung ist zu einer Kulturtechnik geworden, die unsere Gesellschaft prägt. Ganz besonders zeigt sich das in der Art und Weise, wie Musik heute rezipiert wird. Aber auch für die Produktion von Musik erlangt Computertechnologie einen immer höheren Stellenwert. Selbst für Instrumentalmusik stehen digitale Technologien als Arbeitsmittel zur algorithmischen Komposition zur Verfügung. Betrachtet man den Stellenwert, den Technologie in unserer heutigen Gesellschaft hat, scheint es zwingend, dass Komponist_innen sich in irgendeiner Weise dazu verhalten – wobei auch Verweigerung eine Haltung ist.

Das Verwerten von Technologien für künstlerische Zwecke hat auch historisch gesehen immer wieder zu fruchtbaren Resultaten geführt.⁶ Damit soll aber nicht eine simple Kausalität behauptet werden, bei der stets der technologische Fortschritt die Ursache und die ästhetische Neuerung die Wirkung sei. Nur zu leicht verfällt man diesem Trugschluss, gerade weil uns die kapitalistische Vermarktung ständig das Bedürfnis nach moderneren und besseren Gadgets einredet.⁷ Man darf den Kontext nicht aus den Augen verlieren: Technologien entstehen nicht aus dem Nichts, sondern ihre Entwicklung ist Teil eines gesamtulturellen Prozesses, an dem unterschiedliche wissenschaftliche, künstlerische und institutionelle Akteure beteiligt sind.⁸

Zur Vermeidung einer monokausalen Sichtweise soll auch hier versucht werden, beide Gebiete, Technologie und Musik, gleichermassen in den Blick zu nehmen und die wechselseitige Abhängigkeit von technologischer Entwicklung und künstlerischer Anwendung zu betrachten. In Abb. 1 wird diese Abhängigkeit als Zyklus skizziert. Dabei bleibt die Frage offen, wie viele Personen in verschiedenen Funktionen an diesem Zyklus beteiligt sind und wie sich die Schnittstellen zwischen ihnen gestalten: Erkennen Komponist_innen das Gestaltungspotenzial der Technologie und nutzen sie es auch tatsächlich aus? Welche neuen Konzeptideen entstehen bei der künstlerischen Arbeit und wie fliessen sie in die Technologieentwicklung zurück? Von grossem Interesse ist schliesslich die Fragestellung, wie die Technologie eine ästhetisch signifikante Rolle einnehmen kann, also eine Musik ermöglicht, die anders gar nicht komponiert und aufgeführt werden könnte und insbesondere, ob und wie sich dies auch der Wahrnehmung des Publikums erschliesst.

⁵ Dieses Forschungsprojekt ist dokumentiert auf: <http://polytempo.zhdk.ch> (letzter Zugriff: 1. Juni 2017).

⁶ Interessanterweise hat es sich dabei durchaus auch um musikfremde Technologien gehandelt, z. B. wurden etliche Schlüsselkomponenten der elektroakustischen Musik wie Mikrophon, Lautsprecher, Signalübertragung, Oszillatoren, Computer usw. *nicht* für musikalische Zwecke entwickelt.

⁷ Vgl. Jonathan Sterne: *The Audible Past: Cultural Origins of Sound Reproduction*, Durham und London: Duke University Press 2003, S. 7.

⁸ Vgl. Marion Saxer (Hg.): *Spiel (mit) der Maschine: Musikalische Medienpraxis in der Frühzeit von Phonographie, Selbstspielklavier, Film und Radio*, Bielefeld: transcript 2016, S. 12.

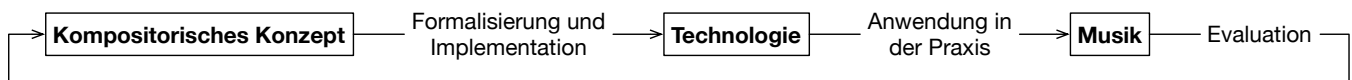


Abb. 1: Zyklische Abhängigkeit von technologischer Entwicklung und künstlerischer Anwendung.

2. Formen von tempopolyphoner Musik

Im Zuge der kompositionstechnischen Neuerungen im frühen 20. Jahrhundert kamen auch progressive Verfahren zur Organisation musikalischer Zeitproportionen auf. Als ›Emanzipation des Rhythmus‹ wird das Bestreben bezeichnet, durch komplexe, asymmetrische oder ›freie‹ Rhythmen die ordnende Kraft des Metrums, die die europäische Musik mehrere Jahrhunderte lang dominiert hatte, aufzubrechen. Einzelne Komponist_innen nahmen sich sogar vor, ein noch viel grundlegenderes Konzept als die Metrik anzugreifen: das gemeinsame Tempo. So entstanden Werke, bei denen die Musik aus mehreren, in verschiedenen Tempi zu spielenden Schichten besteht, wofür sich im Œuvre von Charles Ives früheste Beispiele finden lassen.

Für die weitere Diskussion tempopolyphoner Musik ist es nötig, zwei Konzepte voneinander abzugrenzen: die *unabhängige* und die *kontrollierte* Tempopolyphonie. Bei der unabhängigen Tempopolyphonie laufen die verschiedenen Temposchichten nebeneinander her, ohne dass ihre zeitliche Koordination vollkommen präzise und bei jeder Aufführung identisch wäre. Erschliesst sich diese Mehrschichtigkeit der Wahrnehmung – beispielsweise als eine Collage von verschiedenen Musiken –, bringt sie primär sich selbst zum Ausdruck und thematisiert Qualitäten wie Unabhängigkeit, Selbständigkeit oder gegenseitige Abgrenzung. Neben der unmittelbaren Wahrnehmbarkeit kann die Verwendung unabhängiger Tempi aber auch konzeptuell begründet sein, beispielsweise durch eine serielle Ordnung, durch eine Tonhöhenintervall-Zeitintervall-Analogie oder als Infragestellung des fixierten Werkes, die aufgrund der unscharfen Koordination zu unvorhersehbaren Ergebnissen führen kann.

Der freien Mehrschichtigkeit der unabhängigen Tempopolyphonie steht die rhythmische Genauigkeit der kontrollierten Tempopolyphonie gegenüber, bei der die Temposchichten aneinander gebunden sind und nicht auseinanderdriften können. Dies wirft zunächst aufführungspraktische Fragen auf: Die akkurate Ausführung von kontrollierten Tempopolyphonien stösst immer noch an die Grenzen der menschlichen Möglichkeiten, sobald es sich um mehr als einfachste Temporelationen handelt. Dieses Problem lässt sich entweder mit notationstechnischen Kunstgriffen oder mit technischen Hilfsmitteln lösen.

Eine notationstechnische Lösung findet sich beispielsweise zu Beginn von *Métaux* aus Iannis Xenakis' Sextett für Schlagzeug *Pléiades* (Abb. 2, S. 56). Es gibt ein gemeinsames Tempo (Viertel zwischen MM = 54 und 60) und es werden verschiedene Polyrhythmen gespielt, die als selbständige Tempi erklingen.⁹

9 Um Polyrhythmik und Tempopolyphonie begrifflich voneinander abzugrenzen, kann entweder notationstechnisch oder perzeptuell argumentiert werden. Besonders bei der perzeptuellen Betrachtung hängen mehrere verschiedene Parameter voneinander ab und die Abgrenzung gelingt nur unscharf. Die Diskussion ist letztlich unergiebig und soll hier nicht geführt werden.

Viele Beispiele für notationstechnisch gebundene Tempopolyphonien finden sich auch in Elliott Carters Werken nach 1950. Carter notiert erklingende Tempi, indem er den Taktschlag unterteilt und diese Unterteilung neu gruppiert. In Abb. 3 wird das anhand eines kurzen Ausschnitts aus dem *String Quartet No. 1* erläutert: Der Taktschlag ist in Achteltriolen unterteilt und diese Unterteilung wird in Zehnergruppen zusammengefasst, wodurch das Tempo $MM = 120 \times 3/10 = 36$ dargestellt wird.¹⁰

Bei notationstechnisch gebundenen Tempopolyphonien werden die erklingenden Tempi mit Hilfe von Notenwerten dargestellt, was die folgenden Konsequenzen hat: Es sind nur rationale Tempoverhältnisse möglich, die polyrhythmische Schreibweise wird schon sehr bald schwer ausführbar (vgl. das Beispiel von Xenakis), innerhalb der Temposchichten kann nur eine begrenzte rhythmische Differenzierung stattfinden. Allmähliche Tempoänderungen lassen sich nur durch eine stufenweise Veränderung der Notenwerte darstellen.

Die zweite Lösung, um die akkurate Ausführung von Tempopolyphonien zu ermöglichen, liegt in der Verwendung technischer Hilfsmittel, mit denen den Musiker_innen die unterschiedlichen Tempi vermittelt werden. Dazu bieten sich Lichtmetronome oder über einen Ohrhörer zugespielte, im Voraus hergestellte und mehrkanalig gespeicherte

$\text{♩} = 54 \text{ MM} - 60 \text{ MM}$

The image shows a musical score for six staves, labeled A through F. Above the staves, a tempo marking indicates $\text{♩} = 54 \text{ MM} - 60 \text{ MM}$. Each staff contains a series of rhythmic notations, including beams, flags, and various time signature changes. Above the staves, several ratios are written, indicating the relationships between different rhythmic layers: 3:2, 5:4, 6:7, and 1:1. The notation is dense and complex, reflecting the polyrhythmic nature of the piece.

Abb. 2: Iannis Xenakis: *Métaux* aus dem Schlagzeugsextett *Pléiades*. Die Gleichzeitigkeit verschiedener Tempi wird mittels verschiedener Polyrhythmen realisiert.

1. Violine, Takt 22 ff.

$\text{♩} = 120$

The image shows a musical score for the first violin part of Elliott Carter's *String Quartet No. 1*. It features a single staff with a tempo marking of $\text{♩} = 120$. The notation includes a series of notes with beams and flags, indicating a complex rhythmic pattern. A dashed line with the word 'grava' is written above the staff. To the right of the staff, a calculation is shown: $120 \times \frac{3}{10} = 36$. The notes are grouped in threes, as indicated by the '3' under the beams.

Abb. 3: Ein Thema aus Elliott Carters *String Quartet No. 1*. Im metronomischen Tempo $\text{♩} = 120$ wird notationstechnisch das effektiv erklingende Tempo $MM = 36$ realisiert.

¹⁰ Für eine ausführlichere Darstellung von Elliott Carters Tempotechniken vgl. Philippe Kocher: «Rhythmische Techniken in der Musik von Elliott Carter», in: Benjamin Lang (Hg.): *Lost in Contemporary Music? Neue Musik analysieren*, Regensburg: ConBrio 2017, S. 11–54; Jonathan W. Bernard: «The Evolution of Elliott Carter's Rhythmic Practice», in: *Perspectives of New Music* 26 (1988) 2, S. 164–203.

Metronompulse an.¹¹ Die radikalste Konsequenz des Rückgriffs auf technologische Hilfsmittel besteht darin, den Menschen gänzlich zu umgehen und eine Maschine als Musikinstrument zu verwenden, beispielsweise ein Selbstspielklavier, wie es Conlon Nancarrow in seinen *Studies for Player Piano* tat.

Es liegt im Ermessen der Komponist_innen, sich für die unabhängige oder die kontrollierte Tempopolyphonie zu entscheiden, für beides gibt es kompositionsästhetische Gründe. Die kontrollierte Tempopolyphonie ist aufgrund ihrer Genauigkeit nicht grundsätzlich besser, kann jedoch erstrebenswert sein, um die folgenden satztechnischen Ziele zu erreichen:

Rhythmische Präzision

Was zunächst tautologisch erscheint, soll am Beispiel von Xenakis' Schlagzeugsextett *Métaux* gezeigt werden. Der Prozess, den man in Abb. 2 sehen kann, wiederholt sich während des ganzen Stückes in verschiedener Form mehrere Male: Die Temposchichten beginnen im gemeinsamen Tempo (3:2 Achtel), fächern sich auf und kommen an einer definierten Stelle in einem anderen Tempo (Sechzehntel, man beachte die explizite Angabe des «neutralen» Polyrhythmus 1:1) wieder zusammen. Insbesondere, weil in dieser Musik durch die Regelmässigkeit der Notenwerte und die Wiedergabe auf einem Perkussionsinstrument die Pulsation so nach aussen gekehrt ist, sind rhythmische Ungenauigkeiten nur wenig tolerierbar; ein zu auffälliges «Abwarten» vor dem Zusammentreffen der Tempi würde sich störend bemerkbar machen.

Harmonische Kontrolle

Wenn das Zusammentreffen der einzelnen Tonhöhen in einem tempopolyphonen Satz genau bestimmbar ist, lässt sich auch die Harmonik differenzierter kontrollieren. In den Vorbemerkungen der *Magyar Etüdök* erwähnt Ligeti explizit, dass «geringe Synchronitätsabweichungen duldbar [sind], da die fünf [...] Schichten ein gemeinsames harmonisches Feld bilden (mit einem Changieren von Tonalitäten, bzw. verschiedenen Modi und einem Ganztonfeld). Eine zu grosse Ungenauigkeit der Synchronität würde aber die harmonische Struktur zerstören.»¹² Eine interessante musikhistorische Analogie findet sich darin, dass das Bedürfnis, die Zusammenklänge im mehrstimmigen Satz zu kontrollieren, im 12. Jahrhundert einen Prozess in Gang setzte, der ebenfalls ein Verfahren zur rhythmischen Koordination hervorbrachte: die schriftliche Fixierung von Notenwerten.

Strukturbildung

Unter Conlon Nancarrow's *Studies for Player Piano* finden sich etliche Tempokanons. Kyle Gann weist darauf hin, dass sich aus der kanonischen Anlage dieser Stücke auch Kriterien für die formale Gestaltung ergeben, insbesondere durch die Bildung von

¹¹ Vgl. die Vorbemerkungen zum dritten Teil von György Ligetis *Magyar Etüdök*. Die Erläuterungen sind, historisch bedingt, technisch eher umständlich, bilden aber nachvollziehbar die verschiedenen Möglichkeiten der Realisierung ab: «Jede Gruppe hat einen Hilfsdirigenten [...]. Der Hauptdirigent gibt die fünf einzelnen Einsätze, danach werden die separaten Tempi vom jeweiligen Hilfsdirigenten mit Hilfe eines Metronoms durchgehalten (Lichtmetronome sind dafür besonders geeignet). [...] Eine wirklich synchronisierte Aufführung kann mit Hilfe eines Vierspur-Bandgerätes gesichert werden: auf einem Vierspur-Magnetband werden die Pulsfolgen für die Gruppen 1 bis 4 im voraus gespeichert; die Hilfsdirigenten erhalten ihren eigenen Puls durch einen Kopfhörer (Ticker) [...], der Hauptdirigent kann dann die 5. Gruppe [...] separat steuern. Wenn ein Achtspur-Bandgerät oder ein digitaler Speicher vorhanden ist, können alle fünf Tempi mechanisch koordiniert werden.» György Ligeti: *Magyar Etüdök: (Ungarische Etüden) nach Gedichten von Sándor Weöres*, Mainz: Schott 1983, S. 28.

¹² Ebd.

Konvergenzpunkten (*convergence points*), an denen die in verschiedenen Tempi geführten Kanonstimmen zusammentreffen.¹³ Solche Konvergenzpunkte finden sich in Nancarrow's Kanons entweder am Schluss (der Kanon ist konvergent), in der Mitte (der Kanon ist zuerst konvergent, dann divergent) oder am Anfang und am Schluss (der Kanon ist zuerst divergent, dann konvergent). Bei keinem Kanon gibt es nur einen einzigen Konvergenzpunkt am Anfang.¹⁴

Gestik

Weniger von der Struktur und mehr von der Dramaturgie der Musik her gedacht, kann die präzise rhythmische Synchronisation von verschiedenen Temposchichten auch dazu verwendet werden, deutlich wahrnehmbare Ereignisse (wie beispielsweise Höhepunkte oder Kipppunkte) zusammenfallen zu lassen. Besonders wenn die Musiker_innen im Raum verteilt sind, entfalten solche koordinierten Ereignisse eine starke Wirkung, was damit zusammenhängt, dass die Synchronisation über grosse Distanzen unerwarteter erscheint als bei einem in herkömmlicher Weise auf dem Podium platzierten Ensemble.

Um die kompositorischen Fragestellungen weiter zu vertiefen, ist es nötig, auch einen handwerklichen Aspekt zu erwähnen: Wie lassen sich Tempopolyphonien konstruieren? Die aufführungspraktischen Probleme der kontrollierten Tempopolyphonie wurden bereits angesprochen, nun sollen auch die kompositionspraktischen Probleme benannt werden. Die Berechnungen zur Überlagerung von Temposchichten in konstanten Tempi sind trivial. Sie erfordern einfaches Bruchrechnen und setzen nicht mehr voraus, als dass die Komponist_innen einen gewissen Sinn für Mathematik haben und auch bereit sind, mathematisches Wissen in ihr kompositorisches Denken einzubeziehen. Wenn die Tempoproportionen jedoch komplizierter ausfallen, lassen sie sich nicht mehr so gut in einer Partiturnotation darstellen, was sie abstrakter oder spekulativer macht und eine mögliche Hürde für die Komponist_innen darstellt; die dialektische Beziehung von musikalischer Vorstellung und Notation ist nicht zu unterschätzen. Handelt es sich schliesslich um unabhängige *Tempoprogressionen*, d. h. voneinander entkoppelte Beschleunigungen und Verlangsamungen, werden die benötigten Berechnungen so anspruchsvoll, dass sich hier die Verwendung technologischer Hilfsmittel, zumindest eines Taschenrechners, wenn nicht sogar eines Computerprogramms, aufdrängt.

13 Vgl. Kyle Gann: *The Music of Conlon Nancarrow*, Cambridge: Cambridge University Press 1995, S. 21.

14 Ebd., S. 28.

3. Die Verwendung von technologischen Hilfsmitteln

Die Verwendung von Technologie für tempopolyphone Musik verfolgt zwei Ziele: Einerseits dient sie der Aufführungspraxis, indem sie den menschlichen Interpret_innen die exakte Ausführung des vorgegebenen Tempos ermöglicht. Andererseits unterstützt sie die Kompositionspraxis bei der Berechnung zur Konstruktion nicht trivialer Tempoverhältnisse.

Die Geschichte der technologiegestützten Tempovermittlung beginnt um 1583 mit der Entdeckung der Pendelgesetze durch Galileo Galilei. Das Pendel wurde in der Folge zu einem Hilfsmittel, um musikalische Tempi genau und objektiv festhalten zu können. Etliche Schriften zur musikalischen Aufführungspraxis benennen die Wichtigkeit, die dem ›richtigen‹ Tempo zukommt, und wenn auch an einigen Stellen darauf hingewiesen wird, dass ein gut ausgebildeter Musiker ein natürliches Gefühl dafür haben soll, scheint das Pendel gerade in seiner mechanischen Einfachheit – mehr als ein Faden und ein Gewicht werden nicht benötigt – ein willkommenes Hilfsmittel zu sein; die Hinweise, ein Pendel zur Angabe des Tempos zu verwenden, reichen bis ins 19. Jahrhundert hinein.

Das 18. Jahrhundert gilt als das ›Zeitalter der Automaten‹. Beflügelt von den mechanischen Fortschritten dieser Zeit wurden auch für die musikalische Tempomessung Maschinen erfunden,¹⁵ von denen sich dank geschickter Vermarktung schliesslich Mälzels Metronom durchsetzen konnte.¹⁶ Im 19. Jahrhundert findet sich eine interessante Randerscheinung: Für die zweite Ausgabe seiner Instrumentationslehre, veröffentlicht im Jahre 1855, fügte Hector Berlioz das Kapitel *le chef d'orchestre* hinzu, in welchem er die Schwierigkeit erwähnt, hinter der Bühne aufgestellte Instrumentalist_innen oder Sänger_innen zu dirigieren. Er beschreibt das *métronome électrique*, ein elektrisches Gerät, mit dem der Taktschlag des Dirigenten an die Musiker_innen hinter der Bühne übermittelt werden kann.¹⁷ Berlioz fand dieses Gerät in einem Theater in Brüssel und nutzte es in der Folge auch für ein Konzert an der Pariser Weltausstellung im Jahre 1855, um seinen Taktschlag an fünf Hilfsdirigenten zu übermitteln. Diese Technologie schien jedoch mit der Musikauffassung des 19. Jahrhunderts so wenig vereinbar, dass sie nicht weiter verwendet wurde und wieder verschwand.

Erst im frühen 20. Jahrhundert wurde die technologiegestützte Synchronisation von Musiker_innen wieder zu einem wichtigen Thema. Für die Filmmusik wurden verschiedene Lösungen zur Vermittlung des Tempos entwickelt, um Bild und Musik zu synchronisieren.¹⁸ Ein Verfahren zur Synchronisation von Musikern in tempopolyphoner

¹⁵ Vgl. Rosamond E. M. Harding: *The Metronome and Its Precursors*, Henley-on-Thames: Gresham Books 1928.

¹⁶ Vgl. Philippe John Van Tiggelen: «Über die Priorität der Erfindung des Metronoms», in: Herbert Schneider (Hg.): *Aspekte der Zeit in der Musik: Alois Ickstadt zum 65. Geburtstag*, Hildesheim: Georg Olms 1997, S. 98–126.

¹⁷ Vgl. Hector Berlioz: *Grand traité d'instrumentation et d'orchestration modernes: Nouvelle édition augmentée suivie de l'Art du chef d'orchestre*, Paris: Schönewald 1855, S. 300.

¹⁸ Vgl. Tobias Plebuech: «Zeitarbeit: Das Zusammenspiel von Menschen, Maschinen und Musik in der Entwicklung von Tonfilmtechniken», in: Marion Saxer (Hg.): *Spiel (mit) der Maschine: Musikalische Medienpraxis in der Frühzeit von Phonographie, Selbstspielklavier, Film und Radio*, Bielefeld: transcript 2016, S. 177–210.

Musik beschrieb Emanuel Ghent im Jahre 1967.¹⁹ Der *Click-Track*, ein über einen Ohrhörer zugespieltes Ticken eines Metronoms, wird auch in der heutigen Praxis noch bevorzugt verwendet, als Alternativen zu dieser akustischen Form der Tempovermittlung existieren aber auch visuelle und taktile Verfahren.²⁰

Die Verbindung von Musik und Mathematik hat eine ungleich längere Geschichte: Das Verständnis einer auf Proportionen basierenden Musik als die hörbare Manifestation einer gottgegebenen Ordnung durchzieht die Musiktheorie des Altertums und des Mittelalters. Entsprechend war das Konzept «Musik» weitaus umfassender als heute: Musik bedeutete mehr als absichtsvoll organisierten Klang, das Konzept beinhaltete auch das theoretische Wissen über die Prinzipien, die von diesem organisierten Klang illustriert werden: Proportionen und mathematische Prinzipien. Als im 20. Jahrhundert versucht wurde, die traditionellen Grenzen zu überschreiten, geschah dies vielfach auf der Grundlage mathematischer Prinzipien, was besonders in der Theorie der seriellen Musik mit ihren Operationen wie Transposition, Umkehrung, Multiplikation, Permutation usw. zum Ausdruck kommt.²¹ Für die konkrete Verwendung von Technologie als kompositorischem Werkzeug finden sich Vorläufer in den mechanischen Musikinstrumenten, die seit dem 17. Jahrhundert gebaut wurden, aber erst im 19. Jahrhundert grössere Verbreitung fanden. Eine komponierende Maschine im strengeren Sinne war das von Diederich Nicolaus Winkel 1821 vollendete *Componium*, das mittels zweier Walzen und einem «unvorhersehbaren» Mechanismus ein Thema und unerschöpflich viele Variationen zu erzeugen in der Lage war.²² Für sein Streichquartett *Illiac Suite* verwendete Lejaren Hiller 1957 erstmals ein Computerprogramm zur Formalisierung von Kompositionsprozessen.

Vielen Musikschaaffenden und Musikliebhabern erscheint die Verwendung von mathematischen Verfahren oder technologischen Hilfsmitteln zum Komponieren von Musik immer noch befremdlich. Jörn Peter Hiekel diskutiert die Skepsis, die diesen mit «kühl» und «nüchtern zweckorientiert» konnotierten und für den Verzicht auf menschliche Emotionalität und Einbildungskraft stehenden Verfahren entgegengebracht wird. Es fällt jedoch auf, dass die Verwendung von Mathematik und Technologie nur dann negativ bewertet wird, wenn ein grundsätzliches Verständnis für die Ästhetik der Musik fehlt. Hiekel weist auf die breite Zustimmung hin, die dem «Lieblingsbeispiel» für das Verhältnis von Kunstmusik und Mathematik zukommt: der von Zahlenkombinationen durchdrungenen Polyphonie Johann Sebastian Bachs. Noch auffälliger ist diese Diskrepanz in Bezug auf die Unterhaltungsmusik, bei der Technologie nicht nur eine signifikante Rolle spielt, sondern auch nach wie vor grösste Akzeptanz genießt.²³

19 Emmanuel Ghent: «Programmed Signals to Performers: A New Compositional Resource», in: *Perspectives of New Music* 6 (1967), S. 96–106; Emmanuel Ghent: «The Coordinome in Relation to Electronic Music», in: *Electronic Music Review* 1 (1967), S. 33–43.

20 Eine visuelle Vermittlung des Tempos verwendet beispielsweise auch das vom Autor entwickelte System *Polytempo Network*. Vgl. Philippe Kocher: «Polytempo Network: A System for Technology-Assisted Conducting», in: *Proceedings of the International Computer Music Conference*, Athen 2014, S. 532–35.

21 Vgl. Stéphan Schaub: «Neue Musik und Mathematik», in: Jörn P. Hiekel/Christian Utz (Hg.): *Lexikon Neue Musik*, Kassel: Bärenreiter 2016, S. 460–464; Gianmario Borio: «Komponisten als Theoretiker: Zum Stand der Musiktheorie im Umfeld des seriellen Komponierens», in: Dörte Schmidt (Hg.): *Musiktheoretisches Denken und kultureller Kontext*, Schliengen: Argus 2005, S. 247–274.

22 Vgl. Roger Bragard/Ferdinand J. de Hen: *Musikinstrumente aus zwei Jahrtausenden*, Stuttgart: Belser 1968, S. 234f., ins Deutsche übersetzt von Dieter Krickenberg

23 Jörn P. Hiekel: «Auf neuen Bahnen. Impulse durch Wissenschaft und Technik in der Neuen

4. Ein Formalismus zur Synchronisation von Tempoproggressionen

Die Berechnungen, die nötig werden, um Koinzidenzen zwischen verschiedenen Temposchichten zu konstruieren, sind bei konstanten Tempi trivial. Handelt es sich jedoch um verschiedene *Tempoproggressionen*, d. h. unabhängige Beschleunigungen und Verlangsamungen, werden die Berechnungen anspruchsvoll. Zwar lässt sich beispielsweise eine Beschleunigung einfach dadurch erzeugen, dass die Einsatzabstände zwischen den musikalischen Ereignissen allmählich verkleinert werden und sich der Endpunkt dieser Beschleunigung aus der Summe dieser Einsatzabstände ergibt. Ist hingegen der Endpunkt gegeben, weil er mit einer anderen Temposchicht zu einem bestimmten Zeitpunkt eine Koinzidenz bilden soll, da es sich um eine kontrollierte Tempopolyphonie handelt, steht man vor einer viel schwierigeren mathematischen Aufgabe.

Um dies zu erläutern, sei beispielhaft eine Denkaufgabe gestellt: Zwei Metronome werden so eingestellt, dass das schnellere Metronom doppelt so schnell tickt wie das langsamere und jedes zweite Ticken des schnelleren mit einem Ticken des langsameren zusammenfällt. Dann wird das Tempo des schnelleren Metronoms allmählich verlangsamt. Irgendwann ticken beide Metronome gleich schnell, aber tun sie es auch phasengleich, wie es zur Gestaltung einer Koinzidenz nötig wäre? Damit die beiden Metronome beim Erreichen des gemeinsamen Tempos nicht rhythmisch gegeneinander versetzt sind, muss die Tempoänderung mit einer bestimmten Geschwindigkeit vorgenommen werden. Es stellt sich also die Frage, wie dies im Voraus genau berechnet werden kann.

Um diese Aufgabenstellung zu formalisieren, erscheint es hilfreich, eine Analogie zur Kinematik zu erstellen. Es gibt drei Parameter: Zeit, zurückgelegte Strecke und Geschwindigkeit. Der Parameter Zeit bedarf keiner weiteren Erläuterung, die zurückgelegte Strecke soll hier *Partiturstrecke* genannt werden und entspricht der durch akkumulierte Notenwerte ausgedrückten Distanz im Notentext,²⁴ die Geschwindigkeit entspricht dem Tempo und ist definiert als Partiturstrecke pro Zeiteinheit.

Es ergeben sich nun zwei Möglichkeiten, das Zusammenwirken dieser Parameter zu visualisieren (Abb. 4, S. 62). Erstens ein *Tempo Map* genanntes Tempo-Zeit-Diagramm, bei dem das Tempo als Funktion der Zeit dargestellt wird. Dies scheint die nächstliegende Darstellung zu sein, weil sie das Tempo und auch die Veränderung des Tempos (das Drehen am Metronom) direkt veranschaulicht. Zweitens ein *Time Map* genanntes Position-Zeit-Diagramm, bei dem die Partiturstrecke als Funktion der Zeit dargestellt wird. Beide Darstellungen lassen je einen Parameter nur implizit erscheinen: In der *Tempo Map* ist dies die Partiturstrecke, die sich als das Integral unter der Kurve berechnen lässt, in der *Time Map* ist es das Tempo, das durch die Steigung der Kurve ausgedrückt wird.

Um Temposchichten zu synchronisieren, müssen Koinzidenzen definiert werden: Stellen in den Notentexten der einzelnen Temposchichten, die gleichzeitig, d. h. zu einem genau festgelegten Zeitpunkt erreicht werden. Dies lässt sich in einem Position-Zeit-Diagramm

Musik», in: ders. (Hg.): *Vernetzungen: Neue Musik im Spannungsfeld von Wissenschaft und Technik*, Mainz: Schott 2009, S. 9–21.

24 Hier, wie es bisweilen geschieht, den Begriff «symbolische Zeit» (*symbolic time*) o. ä. zu verwenden, ist streng genommen nicht korrekt. Im Notentext werden lediglich Dauernproportionen dargestellt und keine Zeiten.

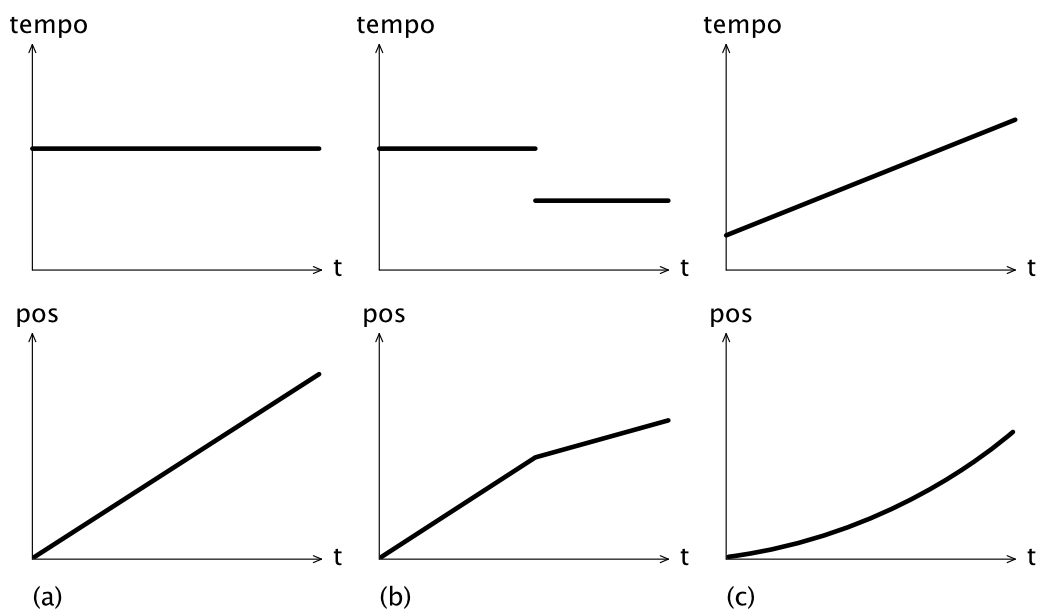


Abb. 4: Eine Gegenüberstellung von drei *Tempo Maps* und den entsprechenden *Time Maps*,
(a) konstantes Tempo, (b) ein abrupter Tempowechsel, (c) ein Accelerando.

sehr einfach vornehmen: Gewisse Positionen werden gewissen Zeiten zugeordnet und solche Zuordnungen sollen *Kontrollpunkte* genannt werden. Werden mehrere Temposchichten in demselben Diagramm dargestellt, bilden diejenigen Kontrollpunkte, die vertikal übereinander stehen, Koinzidenzen (Abb. 5, S. 63). Um nun zwischen den Kontrollpunkten einen im richtigen Masse gekrümmten Verlauf zu bekommen, werden diese Kontrollpunkte mit einer kubischen Bézierkurve verbunden.²⁵ Die Zeitpunkte für die Taktschläge (sowie für jeden beliebigen kleineren Notenwert) zwischen den Kontrollpunkten lassen sich nun aus dem Diagramm ablesen.

In Abb. 6 ist zu sehen, dass eine kubische Bézierkurve durch vier Punkte P_0 , P_1 , P_2 und P_3 bestimmt wird. Die Kurve beginnt bei P_0 und endet bei P_3 , die zusätzlichen Punkte P_1 und P_2 dienen dazu, die Form der Kurve zu bestimmen, indem durch sie die Steigung am Anfang und am Ende festgelegt wird. Da in unserem Fall die Steigung der Kurve dem Tempo entspricht, ist so die Möglichkeit gegeben, das momentane Tempo an den Kontrollpunkten zu bestimmen. Die Form der Kurve und damit der Tempoverlauf zwischen den Kontrollpunkten ergibt sich automatisch aus dem Formalismus der Bézierkurve, wobei es die folgenden Möglichkeiten gibt, die Form der Kurve zu beeinflussen: Der Abstand zwischen P_0 und P_1 beziehungsweise zwischen P_2 und P_3 bestimmt, wie sehr das Tempo an den Kontrollpunkten gewichtet wird, d. h. wie schnell oder allmählich das Tempo verlassen beziehungsweise erreicht wird. Dadurch kann, im Rahmen des Möglichen, die gestische Qualität der Tempoprogression angepasst werden, beispielsweise kann bei einem Accelerando bewirkt werden, dass es «erst später schneller wird».

²⁵ Bézierkurven sind parametrisch modellierte Kurven, die in den frühen 1960er-Jahren in der französischen Autoindustrie zur computerunterstützten Konstruktion aerodynamischer Formen unabhängig voneinander von Pierre Bézier bei Renault und Paul de Casteljau bei Citroën entwickelt wurden. Die heutigen Anwendungen sind vielfältig: Computergraphik, computerunterstütztes Design, Beschreibung von Schrifttypen usw.

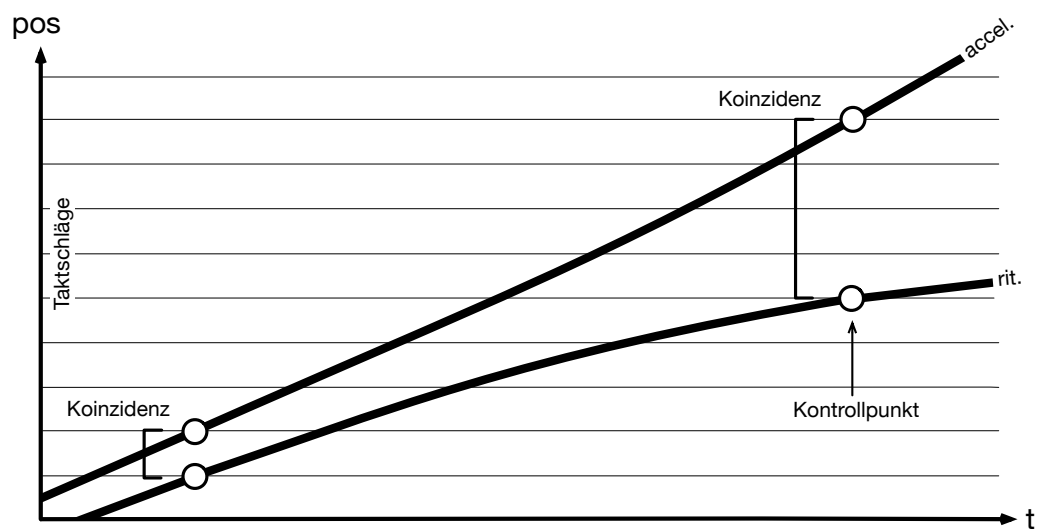


Abb. 5: Koinzidenzen zwischen einem Accelerando (Steigung der Kurve nimmt zu) und einem Ritardando (Steigung der Kurve nimmt ab). Zwischen den Kontrollpunkten wird eine Bézierkurve gezeichnet.

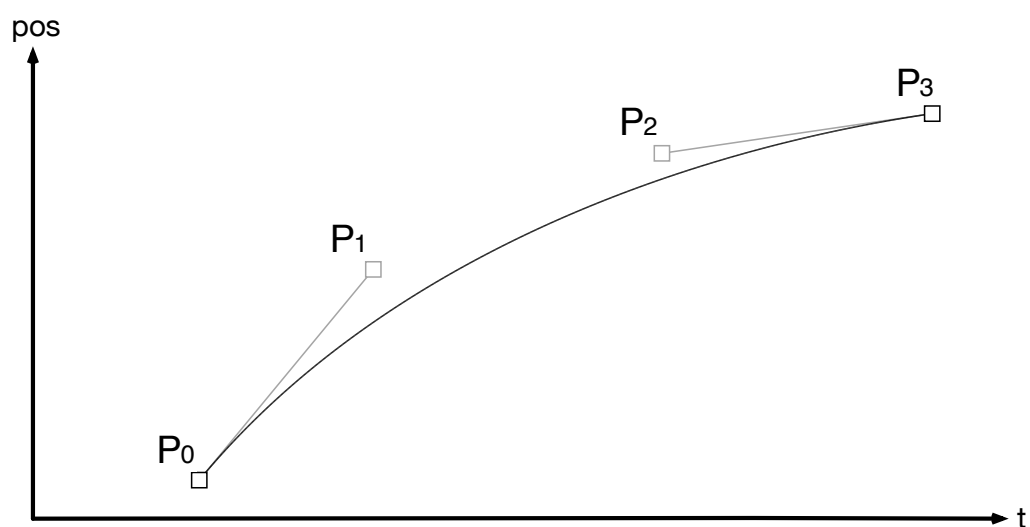


Abb. 6: Eine kubische Bézierkurve wird durch vier Punkte bestimmt. Auf einer *Time Map* bezeichnen die Punkte P_0 und P_3 Zuordnungen von Partiturpositionen zu absoluten Zeiten. P_1 und P_2 kontrollieren die Form der Kurve, insbesondere die momentane Steigung bei P_0 und P_3 , was dem momentanen Tempo entspricht.

Die Eleganz dieses Formalismus liegt darin, dass der Benutzer nicht mit anspruchsvoller Mathematik konfrontiert wird, sondern die Aufgabenstellung der Synchronisation verschiedener Temposchichten in einem Position-Zeit-Diagramm mit Hilfe der bekannten Formel für eine Bézierkurve graphisch lösen kann. Zudem lässt sich dadurch auch die gegenseitige Abhängigkeit aller Parameter nachvollziehen. Eine Tempoprogression besteht aus einem Start- und Endpunkt im Notentext, einem Start- und Endtempo und einer bestimmten Zeitdauer, während der die Tempoprogression ausgeführt werden soll. Jede Veränderung eines dieser Parameter hat eine anders gekrümmte Kurve zur Folge, was man mit Hilfe dieses Formalismus und gerade durch die graphische Darstellung gut veranschaulichen und begreifbar machen kann. Die Kenntnis dieser Zusammenhänge kann für den Kompositionsprozess und die Disposition von polyphonen Tempoprogressionen von grossem Wert sein.

Dieser Formalismus muss in ein Computerprogramm implementiert werden.²⁶ Es wäre unpraktikabel und langwierig, Bézierkurven von Hand auszurechnen, und zudem müsste man auf die Erkenntnisse der interaktiven Visualisierung verzichten. Vorausgesetzt, dass Komponist_innen die hier skizzierten Möglichkeiten einer kontrollierten Tempopolyphonie mit unabhängigen Tempoprogressionen musikalisch erkunden möchten, ist ein computerunterstützter Kompositionsprozess und damit die Verwendung von Technologie unvermeidlich.

Hingegen bleibt ein Problem vorläufig bestehen: Mit diesem Formalismus lassen sich zwar beliebige Tempoprogressionen zueinander synchronisieren, jedoch ist die graphische Darstellung in einer Partitur kompliziert, was für die Komponist_innen ein Hindernis darstellen kann. Für den computergestützten Notensatz existieren derzeit kaum Lösungen.

5. Fazit und Ausblick

Um die eingangs gestellten Forschungsfragen zu beantworten, ist es nötig, die hier vorgestellten Formalismen und Technologien in die künstlerische Praxis zu überführen, die Kompositionsprozesse zu begleiten, die entstehenden Partituren zu analysieren und die Aufführung der Musik zu beobachten. Es ist dem jungen Alter des Vorhabens geschuldet, dass dies noch nicht oft geschehen konnte und damit noch zu wenige Werke entstanden sind, um einen aussagekräftigen Vergleich anzustellen. Das Fazit hat deshalb einen vorläufigen Charakter.

Es gibt, verglichen mit dem Gesamtvolumen an zeitgenössischer Musik, nur wenig tempopolyphone Musik. Ist dies ein Zeichen dafür, dass das Aufgeben eines gemeinsamen Tempos den meisten Komponist_innen ästhetisch wenig ergiebig scheint, oder ist es auf den Mangel an nützlichen Hilfsmitteln zurückzuführen?

An einigen bereits realisierten Werken hat sich gezeigt, wie sehr das kompositorische Denken in der Schriftbildlichkeit der Partitur verhaftet sein kann. Die Schwierigkeiten einer adäquaten Partiturdarstellung behindern eine experimentelle Tempopolyphonie.

²⁶ Vgl. Philippe Kocher: «Polytempo Composer: A Tool for the Computation of Synchronisable Tempo Progressions», in: *Proceedings of the Sound and Music Computing Conference*, Hamburg 2016, S. 238–242.

Komponist_innen müssen bereit sein, sich auf experimentelle und konstruktive Konzepte einzulassen und die traditionelle Partiturdarstellung weitgehend aufzugeben, womit auch die Operationalität der Partitur, der Denk- und Handlungsraum, den sie bietet, wegfällt. Die Bereitstellung einer Lösung für dieses Problem scheint eine der wichtigsten zukünftigen Aufgaben der technologischen Entwicklung zu sein.

Auch bezüglich der Aufführungspraxis bleibt eine ästhetische Frage der technologiegestützten Tempovermittlung noch ungeklärt: Was bedeutet es, wenn die Musik gänzlich einem «maschinellen» Tempo unterstellt ist, was geht verloren, was wird im Gegenzug gewonnen? Die Reaktionen der beteiligten Musiker_innen in den bisher realisierten Aufführungen zeichnen ein ambivalentes Bild. Auf der einen Seite stehen Musiker_innen mit Erfahrung in der Ausführung von zeitgenössischer, rhythmisch komplexer Musik, die hier auch von einem menschlichen Dirigenten nicht mehr erwarten als ein nüchternes Taktschlagen und deshalb die unbestechliche Klarheit der technologiegestützten Tempovermittlung durchaus begrüßen. Auf der anderen Seite stehen Musiker_innen, die die Abhängigkeit von einer Maschine als Entfremdung wahrnehmen.

Eine interessante Erkenntnis liegt darin, dass die beiden in diesem Aufsatz genannten Technologien einander bedingen: Zum einen eröffnet die technologiegestützte Aufführungspraxis Möglichkeiten der Ausführung komplexer Tempostrukturen, deren Konzeption die Verwendung eines entsprechenden Kompositionsformalismus nahelegt, zum anderen ermöglicht der Kompositionsformalismus die Konzeption anspruchsvoller Tempostrukturen, deren Ausführung ohne technologische Hilfen zur Vermittlung des Tempos unmöglich wären. In dieser gegenseitigen Abhängigkeit zeigt sich, wie für eine bestimmte Art von tempopolyphoner Musik Technologie in mehrfacher Weise notwendig ist und dadurch eine ästhetische Signifikanz erhält.

Beiträge der Graduate School of the Arts I (2017)
Herausgegeben von Beate Hochholdinger-Reiterer
und Thomas Gartmann

Redaktion: Cla Mathieu, Christoph
Moor, Bettina Ruchti
Endlektorat: Marcel Behn
Gestaltung: Büro 146
Schrift: Ueli Hofmann
Druck: Ackermanndruck AG, Köniz

© by Graduate School of the Arts und
bei den Autorinnen und Autoren
Bern 2017

ISBN: 978-3-9524098-6-2
ISBN: 978-3-9524098-7-9 (elektronische Version)
ISSN 2571-6328
ISSN 2571-6336 (elektronische Version)
DOI: 10.7892/boris.106069



Dieses Werk ist lizenziert unter einer
Creative Commons Namensnennung 4.0
International Lizenz

Kontakt:
Graduate School of the Arts (GSA)
Muesmattstr. 45
Postfach
3000 Bern 9
Tel. +41 (0)31 631 54 75
info@gsa.unibe.ch
www.gsa.unibe.ch